

TUĞLA İÇ GEOMETRİSİNİN ISI TRANSFERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Birol ŞAHİN

ÖZET

Tuğla, çok eski zamanlardan beri binalarda yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Dış ortamla yaşam alanlarını birbirinden ayıran tuğla, ısı transferi açısından da önemli bir özelliğe sahiptir. Gelişen teknolojiye ve ihtiyaçlara bağlı olarak zamanla farklı tuğla çeşitleri ortaya çıkmıştır. Bunlar arasında ısı iletkenliği düşük olan tuğlalar, sağladıkları enerji tasarrufu ile tercih edilmektedir. Tuğlanın sahip olduğu iç geometri, tuğlanın bir yüzeyinden diğer yüzeyine olan ısı transferini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle tuğla iç geometrisinin farklı durumları için ısı transferini azaltacak önlemler alınmalıdır. Yapılan çalışmada tuğla iç geometrisinin ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sayısal çalışmada tuğlanın alt ve üst yüzeylerinin yalıtıldığı kabul edilmiştir. Tuğlanın dış ortama bakan yüzeyi düşük sıcaklıkta, iç ortama bakan yüzeyi ise yüksek sıcaklıkta alınmıştır. Tuğla iç geometrisini oluşturan boşluklarda ısı transferinin doğal taşınım ile gerçekleştiği kabul edilmiştir. Belirlenen durumlar için kapalı ortam içerisinde oluşan akım çizgileri, eş sıcaklık eğrileri, ortalama Nusselt sayıları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Boussinesq yaklaşımıyla verilen Navier-Stokes denklemleri kapalı bir dikdörtgen ortam içerisindeki doğal taşınım probleminin çözümü için kullanılmıştır. Sonlu kontrol hacmi metodu kullanılarak ayrıklaştırılan denklemler SIMPLE algoritmasına göre çözülmüştür. Tuğla içerisindeki boşluklarda hava olduğu kabul edilerek Prandtl sayısı 0.71 alınmıştır. Sayısal çalışma, Rayleigh sayısının 10^4 - 10^6 aralığındaki değerleri için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, tuğla iç geometrisinin ısı transferini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

1. GİRİŞ

Çok eski zamanlardan beri insanlar çevresel etkenlerden korunma ve barınma amaçlı olarak farklı malzemeler yardımıyla barınaklar yapmışlardır. Bunların ilk örnekleri nehir kenarlarında ve deltalardaki yerleşim birimlerinde pişmemiş kil yardımıyla yapılan evlerdir. İlerleyen zamanlarda ise daha dayanıklı ve uzun ömürlü olmaları sebebiyle belirli kalıplar içine dökülerek hazırlanan pişmiş kil kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojinin gelişmesi ve ihtiyaçlara bağlı olarak binalarda farklı içeriklere sahip yapı malzemeleri geliştirilmiştir. Günümüzde binalarda yaygın olarak kullanılan yapı malzemesi ise tuğladır. Tuğla; inorganik silikat ve metal oksitlerin yüksek sıcaklıktaki fırınlarda pişirilmesi ile elde edilen yapı malzemesidir. Üretim şekillerine ve özelliklerine göre farklı tipte tuğlalar mevcuttur. Binalarda genel olarak belirli standartlara göre üretilmiş delikli blok tuğla kullanılmaktadır.

Günümüzde artan insan nüfusuna bağlı olarak artan bir enerji ihtiyacı vardır. Bu enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil yakıtlardan, geri kalanı ise nükleer enerji ve yenilenebilir enerji gibi farklı enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Fosil yakıtların yakın bir gelecekte tükeneceği göz önüne alınırsa ortaya çıkan bu enerji açığını kapatmak için ya diğer enerji türlerine ağırlık verilmelidir, ya da var olan enerjinin daha verimli kullanılması sağlanmalıdır.

Türkiye de binalar enerji tüketiminde yaklaşık olarak % 40 gibi yüksek bir orana sahiptir. Bu yüksek enerji tüketimine rağmen 2020 yılı için tasarruf edilebilir enerji potansiyeli %16.5 olarak tahmin edilmektedir. Binalarda tüketilen enerjinin büyük bir kısmı ortamı ısıtmak için kullanılmaktadır.

Binalarda tüketilen enerjinin azaltılması için iç ortam ısısının muhafaza edilmesi gerekir. Binalarda ısı kaybının büyük bir kısmı (%25-40) dış duvarlardan kaynaklanmaktadır. Bu ısı kaybını azaltmak ancak yalıtımla sağlanabilir. Buradaki yalıtımdan kasıt ısı transfer katsayısı düşük yapı malzemesi kullanımudur. Binalarda duvar malzemesi olarak büyük oranda tuğla kullanıldığı göz önüne alınırsa düşük ısı transfer katsayısına sahip tuğla kullanımıyla ısı kaybında önemli azalmaların ortaya çıkacağı aşikârdır. Düşük ısı transfer katsayısına sahip tuğla elde edebilmek için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bunlardan biri farklı tuğla malzemesi kullanmak, diğeri ise tuğla iç geometrisini değiştirmektir. Her iki değişim de tuğladan gerçekleşen ısı transferini önemli oranda etkilemektedir. Tuğla geometrisi göz önüne alındığında tuğla içindeki hava boşluklarının sayısı, en/boy oranları, geometrileri, dağılımları gibi birçok etken ortaya çıkmaktadır. Bu etkenlerden herhangi birinin veya birkaçının değişimi tuğla içindeki hava boşluklarında meydana gelecek ısı transferini de büyük oranda etkileyecektir. Tuğla içindeki boşluklarda hava bulunduğundan dolayı burada gerçekleşecek ısı transferi büyük oranda taşınım, daha küçük oranlarda ise iletim ve ışınım olacaktır. Genel olarak taşınım ısı transferi doğal ve zorlanmış taşınım olarak ikiye ayrılır. Zorlanmış taşınım, bir fan, vantilatör, pompa, vb. gibi enerjiye ihtiyaç duyan dış etkiler sonucu meydana gelirken doğal taşınım akışı zorlayıcı dış etkiler yoktur. Doğal taşınım ısı transferi yoğunluk veya konsantrasyon farkından kaynaklanmaktadır. Yoğunluk farkından kaynaklanan doğal taşınım, ısınan molekülün yoğunluğu azalacağından dolayı yer çekiminin tersi yönünde hareket eder, böylece bir kaldırma kuvveti meydana gelir. Genelde akışkanlar, buldukları ortamda hem sıcak, hem de soğuk yüzeylerle temasta buldukları için, sınır şartlarına bağlı olarak yer çekimi yönünde veya buna ters yönde akışkan hareketleri eş zamanlı olarak oluşur. Doğal taşınım ısı transferi, boyutsuz bir parametre olan Rayleigh sayısına bağlı olarak, laminer ve türbülanslı doğal taşınım olarak ikiye ayrılır. Kullanılan akışkana ve sınır şartlarına göre laminer doğal taşınım Rayleigh sayısının 10^3 - 10^7 aralığındaki değerleri için geçerliken, Rayleigh sayısının 10^9 dan büyük olması durumunda türbülanslı doğal taşınım geçerlidir.

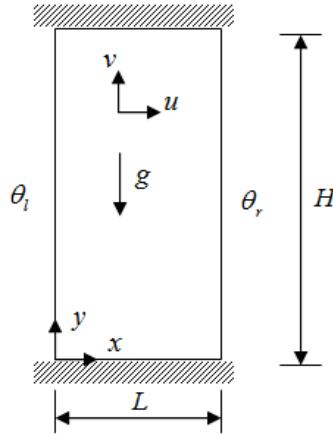
Doğal taşınım ısı transferi ile ilgili sayısal çalışmalar daha çok 1980 yılı ve sonrasında, gelişen bilgisayarların hızına ve kapasitesine bağlı olarak artmıştır. Davis [1], iki boyutlu geometriye sahip alttan ve üstten yalıtılmış, farklı sıcaklıklara sahip yan duvarlar arasındaki doğal taşınım ısı transferi olayını Grashoff sayısının 10^3 - 10^6 aralığında değişmesi durumu için incelemiştir. Kare ve dikdörtgen kapalı ortamların alttan trigonometrik olarak ısıtılması, diğer yüzeylerinden ise soğutulması durumları için laminer doğal taşınım Dalal ve Das [2] tarafından çalışılmıştır. Ostrach [3], kapalı ortamlardaki doğal taşınım problemi için geniş bir literatür araştırması vermiş olup problemlerin çözümü için önerilerde bulunmuştur. Shi ve Khodadadi [4], kapalı kare ortamın sıcak olan sol yüzeyine yerleştirilen kanatçığın ısı transferi üzerine etkisini, laminer doğal taşınım için sonlu kontrol hacmi metodunu kullanarak sayısal olarak çözmüşlerdir. Şahin ve Arıcı [5,6,7], yaptıkları çalışmalarda kapalı ortamların değişik konfigürasyonları ve farklı sınır şartları için sayısal çalışmalar yapmışlardır. Bir tarafı yüksek sıcaklıkta, tavan kısmı düşük sıcaklıkta olan ve diğer yüzeyleri yalıtılmış iki boyutlu kapalı ortam için doğal taşınım problemi, akım fonksiyonu-vortisite formülasyonu kullanılarak değişik en/boy oranlarında ve Rayleigh sayısının 10^3 - 10^7 aralığında olması durumları için Aydın vd. [8] tarafından çalışılmıştır. Corcione [9], alttan ısıtılmış, üstten soğutulmuş, yan duvarları farklı sınır şartlarındaki iki boyutlu kapalı ortamlarda meydana gelen doğal taşınım ısı transferini sayısal olarak incelemiştir. Svoboda ve Kubr [10], farklı tiplerdeki delikli tuğlalarda düşey ve yatay yönlere eşdeğer ısı iletimini incelemiştir. Farklı boşluk tiplerinde ve aralıklarında çalışmalar yapmışlardır. Alhazmy [11] tuğla içinde meydana gelen taşınımı azaltmak için ortam içine bölmeler eklemiştir. Isı akısında %42 ye varan azalmalar belirlemiştir. Li vd. [12] 240x115x90 boyutlarındaki çok boşluklu kil tuğlanın 50 farklı kombinasyonu için eşdeğer ısı iletimini belirlemeye yönelik sayısal çalışma yapmışlardır. Li vd. [13] 240x140x90 boyutlarındaki delikli kil tuğlalar için sonlu kontrol hacmi yöntemiyle optimum delik ve sayısı ve bunların düzenlenmesini içeren bir çalışma yapmışlardır. Lacarriere vd. [14] çevre dostu binaların yapımında yalıtım malzemesine gerek duymayan düşey delikli tuğla geliştirmişlerdir. Sun ve Fang [15] enerji tasarrufu amacıyla 240x115x90 boyutlarındaki beton delikli tuğlanın 71 farklı konfigürasyonu için ısı transferi performansını sayısal olarak incelemiştir. Lorente vd. [16] pek çok küçük boşluğa sahip bir bina kabuğu için sıcaklık dağılımını deneysel olarak elde etmişlerdir. Zukowski ve Haese [17] içine perlit doldurularak yalıtım sağlanmış düşey sıralı delikli duvar elemanının ısı özelliklerini incelemiştir. Al-Hadhrami ve Ahmad [18] Suudi Arabistan'da kullanılan dokuz çeşit kil tuğla ve iki çeşit beton tuğlanın ısı performanslarını incelemiştir. Arendt vd. [19] delikli tuğladaki boşluk yoğunluğu, zaman gecikmesi, azaltma faktörü, eşdeğer ısı yayılım ve eşdeğer ısı iletim gibi statik ve dinamik ısı parametreleri üzerine etkilerini incelemiştir. Diaz vd. [20] duvar malzemelerinin ısı

iletimini etkileyen başlıca değişkenler olan düşük ağırlıktaki betondan yapılmış blokları ve farklı harç özelliklerini incelemiştir. Söylemez [21] gözenekli yapı tuğlalarındaki etkin ısı iletimini sayısal ve deneysel olarak çalışmıştır. Al-Hazmy [22] yaygın olarak kullanılan delikli yapı tuğlasında taşınım ve iletimin bir arada olduğu birleşik ısı transferi modunda çalışılmıştır. Yalıtım için uygun tuğla konfigürasyonu belirlenmeye çalışılmıştır. Alawadhi [23] sıcak iklimlerde faz değiştiren madde (FDM) içeren yapı tuğlalarının ısı analizini yapmıştır. Lorente ve Javelas [24] düşey delikli tuğlalardan yapılmış pişmiş toprak duvarın ısı direncini belirlemek için farklı delik geometrilerinde ve sınır koşullarında çalışma yapmışlardır. Antar ve Baig [25] delikli bir bloktan olan birleşik ısı transferini sayısal olarak incelemiştir. Blok malzemesinde iletim, boşlukta ise taşınım olduğu göz önüne alınmıştır. Blok yüksekliği sabit tutularak boşlukların artırılmasının ısı kaybını önemli ölçüde azalttığını belirlemiştir.

Yapılan çalışmada, tuğla iç geometrisinin farklı durumları için tuğla üzerinden doğal taşınımın gerçekleşen ısı transferi incelenmiş olup, ısı transferinin azaltılması ve böylece enerjinin verimli kullanımı amaçlanmıştır.

2. TEORİK ÇALIŞMA

İncelenen problem geometrisi genel itibariyle dikdörtgen olup Şekil 1 de verilmiştir. Verilen geometri için kapalı ortamın sağ düşey duvarı düşük sıcaklıkta olup, sol düşey duvarı ise yüksek sıcaklıktadır. Kapalı ortamın yatay duvarlarının ise yalıtıldığı kabul edilmiştir. Çözüm bölgesi içerisinde duvar yüzeylerinde kaymama sınır koşulu geçerli olup akışkan özellikleri sabit alınmıştır. Yükseklik/uzunluk oranı (A) ise iki olarak alınmıştır.



Şekil 1. İçi Boş Tuğla Geometrisi.

İncelenen geometride meydana gelen doğal taşınımın ısı transferi, sıcaklık farkı sonucu oluşan kaldırma kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır. İki boyutlu sürekli rejimde doğal taşınım için geçerli olan momentum denklemleriyle enerji denklemi kaldırma kuvvetlerini de ihtiva edecek şekilde boyutsuz olarak aşağıda verilmiştir:

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \text{Pr} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (1)$$

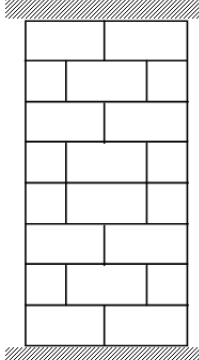
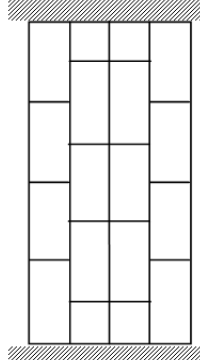
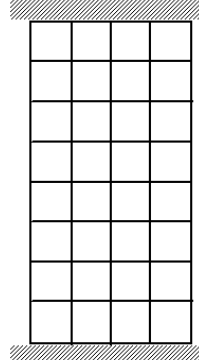
$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + Ra \text{Pr} \theta + \text{Pr} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) \quad (2)$$

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \quad (3)$$

Denklemlerin boyutsuzlaştırılmasında kullanılan boyutsuz büyüklükler şu şekildedir:

$$X = \frac{x}{L}, Y = \frac{y}{L}, U = \frac{uL}{\alpha}, V = \frac{vL}{\alpha}, \theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c}, P = \frac{\rho L^2}{\rho \alpha^2} \quad (4)$$

Tuğla iç geometrisinin ısı transferi üzerine etkisini incelemek amacıyla farklı konfigürasyonlar oluşturulmuştur. Boş dikdörtgen ortam için olan tuğla geometrisi konfigürasyon 0 (C0), yatay iç bölmelere sahip tuğla geometrisi konfigürasyon I (CI) olarak verilmiştir. Düşey iç bölmelere sahip tuğla geometrisi konfigürasyon II (CII), yatay ve düşey iç bölmelere sahip tuğla geometrisi ise konfigürasyon III (CIII) olarak verilmiştir. Çalışılan konfigürasyonlar Şekil 1 ve Şekil 2 de gösterilmiştir:

Konfigürasyon I (Yatay delikli tuğla)	Konfigürasyon II (Düşey delikli tuğla)	Konfigürasyon III (Yatay ve düşey delikli tuğla)
		

Şekil 2. Tuğla İç Geometrisi İçin Farklı Konfigürasyonlar.

Taşınım ile ısı transferinin göstergesi olarak kabul edilen Nusselt sayısı, ortamın sol duvarı için yerel ve ortalama değerleri elde edilecek şekilde aşağıdaki gibi hesaplanır:

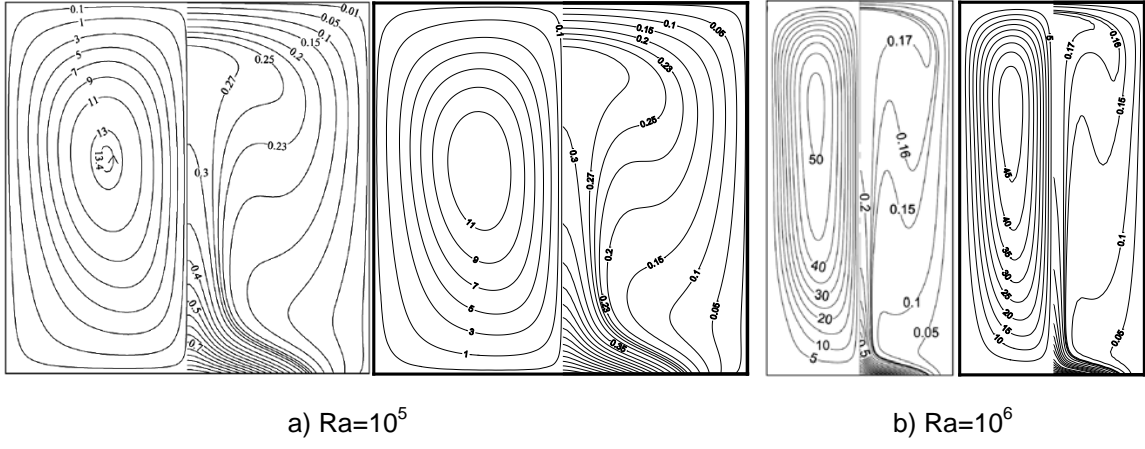
$$Nu_l = -\frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_{x=0} \quad \overline{Nu}_l = \int_0^1 Nu_l dY \quad (5)$$

Çözüm için eliptik bir FORTRAN programı problemi çözecek şekilde geliştirilmiştir. Sayısal çalışma, iki boyutlu dikdörtgen ortamın 60x120 uniform ağ yapısına bölünmesiyle yapılmıştır. Problemi çözümü için boyutsuzlaştırılan iki momentum ve bir enerji denklemi sonlu kontrol hacmi yöntemiyle ayrıklaştırılarak Patankar [26] tarafından verilen SIMPLE algoritmasına göre iteratif olarak çözülmüştür. Çözüm, boyutsuz denklemlerle gerçekleştirildiği için sınır koşulları da boyutsuz sınır koşulu olarak; soğuk olan sağ duvar için 0, sıcak olan sol duvar için 1 alınmıştır. Kapalı ortamda bulunan akışkanın hava olduğu kabulüyle Prandtl sayısı 0.71 alınmıştır.

3. BULGULAR

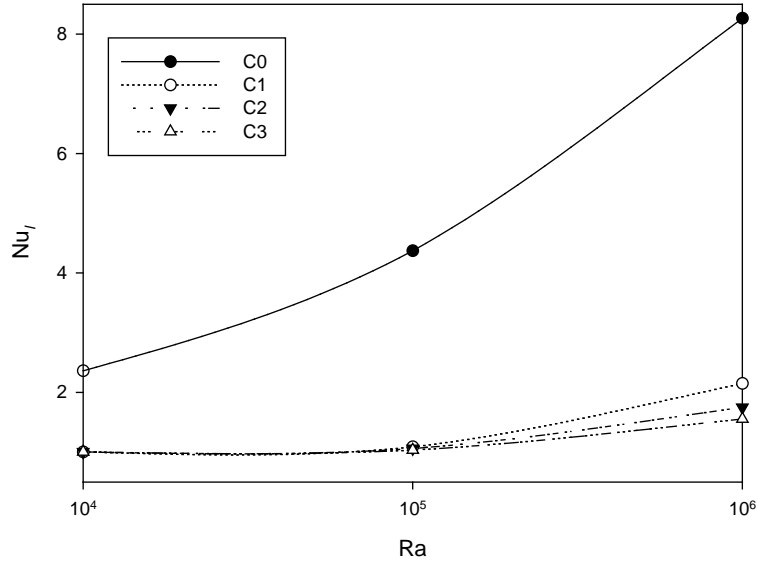
Belirlenen geometriler için elde edilen bulgular, Rayleigh sayısının 10^4 - 10^6 değerlerinde dikdörtgen tuğla için ortalama Nusselt sayıları, akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerinin değişimleri Şekil 3-5 te sunulmuştur. Karşılaştırma yapmak amacıyla alt duvar sıcaklığı trigonometrik olarak değişen diğer duvarları düşük sıcaklıkta olan geleneksel doğal taşınım problemi için boş kare ve dikdörtgen ortamda

elde edilen akım çizgileri, eşsıcaklık eğrileri ve ortalama Nusselt sayıları, Dalal ve Das [2] tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3 ten de görüleceği gibi elde edilen sonuçlarla literatürde verilen sonuçlar benzerlik göstermektedir.



Şekil 3. Yapılan Çalışma ile Dalal ve Das [2] Tarafından Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.

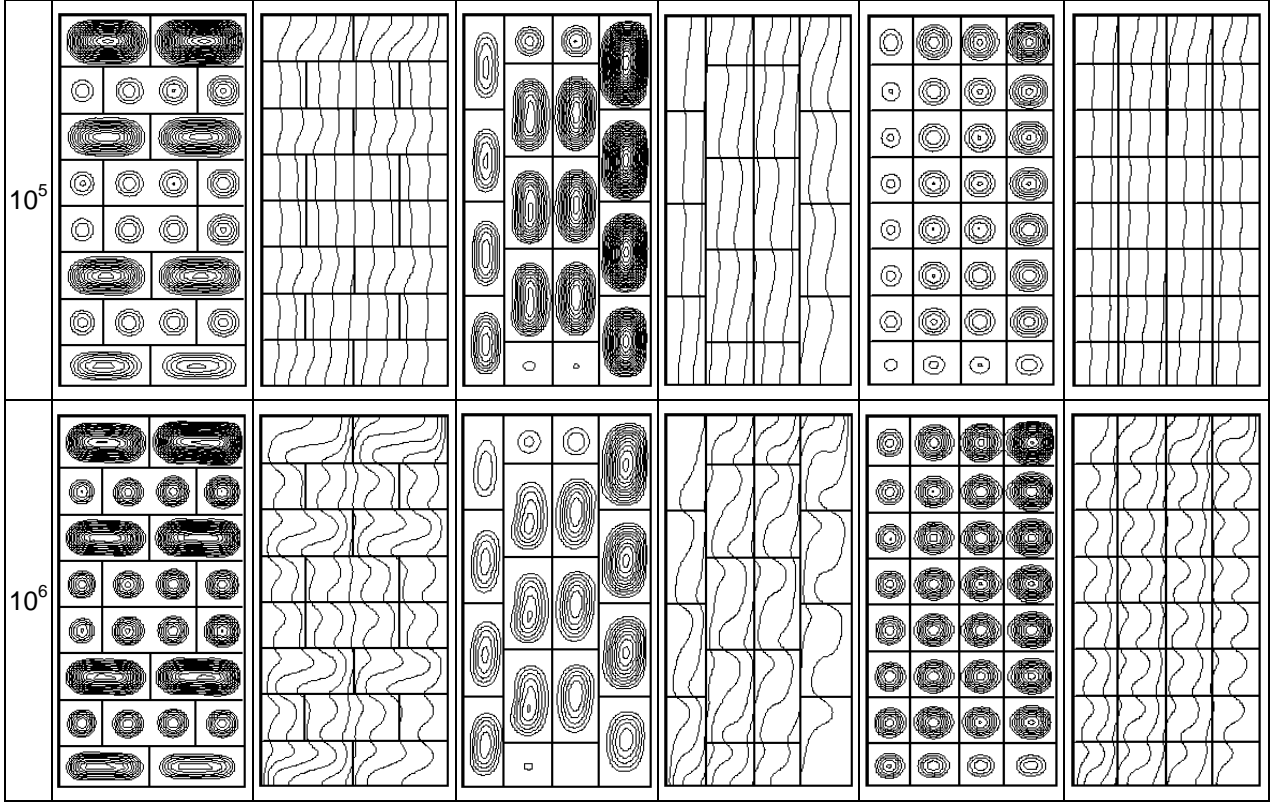
□ B MYükseklikten] İt □ Kklc Yc]b a n]



Şekil 4. Farklı Konfigürasyonlarda $Ra=10^4 - 10^6$ için Ortalama Nusselt Sayıları.

Şekil 5 ten görüldüğü gibi yatay bölmelerin yerleştirildiği konfigürasyon I de (CI) yer yer iki akım hücresi oluşmakta, Rayleigh sayısının artmasıyla akım fonksiyonlarında artışlar görülmektedir. Düşey bölmelerin yerleştirildiği konfigürasyon II de (CII) her bir bölmede belirli bir merkez etrafında tek akım hücresi meydana gelmektedir. Bölme sayısı artıkça (CIII) her bir hücrede farklı akım hızları meydana gelmekte ve sağ üst köşeye yaklaştıkça akım hızları artmaktadır. Eş sıcaklık eğrilerinde ise düşük Rayleigh sayılarında iletimle ısı transferine benzer sıcaklık dağılımları görülmekte, artan Rayleigh sayısına bağlı olarak kaldırma kuvvetlerinde meydana gelen artışla birlikte eş sıcaklık eğrilerinde önemli değişimler görülmektedir.

Ra		Konfigürasyonlar					
		CI		CII		CIII	
		ψ	θ	ψ	θ	ψ	θ
10 ⁴							



Şekil 5. Farklı Konfigurasyonlarda $Ra=10^4 - 10^6$ İçin Elde Edilen Akım Çizgileri ve Eş Sıcaklık Eğrileri.

SONUÇLAR

Elde edilen bulgular ışığında tuğla iç geometrisinin, gerçekleşen ısı transferini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. İçi boş tuğlaya göre kapalı ortama yerleştirilen iç bölmeler ısı transferini önemli ölçüde azaltmaktadır. İç bölme sayısı arttıkça bu durum daha belirgin bir şekilde görülmektedir. İç bölme sayısı arttıkça bölme içerisindeki akışkanın hareketi de sınırlandırdığından dolayı iletimle ısı transferine yakın sonuçlar elde edilmiştir. İç bölmelerde akışkan olarak kullanılan havanın ısı iletim katsayısı düşük olduğundan gerçekleşecek ısı transferi de düşük olacaktır. Böylece yalıtım malzemesi kullanılmadan direkt olarak tuğla iç geometrisinin değiştirilmesiyle ısı transferinde önemli kazançlar sağlanabilir. Her iki ısıtma yöntemi için artan sıcaklık farkına bağlı olarak ısı transferinin de arttığı görülmüştür.

Semboller

A	Yükseklik/uzunluk oranı
H	kapalı ortamın düşey kenar yüksekliği,
L	kapalı ortamın uzunluğu
Nu_l	yerel Nusselt sayısı
\overline{Nu}	ortalama Nusselt sayısı
P	boyutsuz basınç
Pr	Prandtl sayısı, ν / α
Ra	Rayleigh sayısı, $\rho g \beta (T_h - T_c) L^3 / (\mu \alpha)$
ψ	Akım fonksiyonu
T, θ	sıcaklık, boyutsuz sıcaklık

u, U	yatay hız bileşeni, boyutsuz yatay hız bileşeni
v, V	düşey hız bileşeni, boyutsuz düşey hız bileşeni
x, X	yatay koordinat, boyutsuz yatay koordinat
y, Y	düşey koordinat, boyutsuz düşey koordinat

Alt indisler

l	Sol yüzey
r	Sağ yüzey
C0	0 nolu konfigürasyon
C1	1 nolu konfigürasyon
CII	2 nolu konfigürasyon
CIII	3 nolu konfigürasyon

KAYNAKLAR

- [1] Davis, G.de.V., Natural Convection of Air in a Square Cavity: A Benchmark Numerical Solution, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 3, 249-264, 1983.
- [2] Dalal, A., Das, M.K., Natural Convection in a Rectangular Cavity Heated from Below and Uniformly Cooled from the Top and Both Sides, Numerical Heat Transfer, Part A, 49, 301-322, 2006.
- [3] Ostrach, S., Natural Convection in Enclosures, Journal of Heat Transfer, 10, 1175-1190, 1988.
- [4] Shi, X., Khodadadi, J.M., Laminar Natural Convection Heat Transfer in a Differentially Heated Square Cavity Due to a Thin Fin on the Hot Wall, Journal of Heat Transfer, 125, 624-634, 2003.
- [5] Şahin, B., "Sınır Şartlarının Kapalı Ortamlardaki Doğal Taşınım İle Isı Transferi ve Sıcaklık Dağılımına Etkisinin Sayısal Analizi", IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 2009.
- [6] Şahin, B., Arıcı, M.E., "Kapalı Kare Ortamlarda Yatay, Düşey ve Eğik İç Bölmelerin Doğal Taşınım İle Isı Transferine Etkisinin Sayısal İncelenmesi", 15. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Trabzon, 2005.
- [7] Şahin, B., Arıcı, M.E., "Dubleks Ev Benzeri Kapalı Ortamlarda Doğal Taşınım İle Isı Transferinin Sayısal İncelenmesi", 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Kayseri, 2007.
- [8] Aydın, O., Ünal, A., Ayhan, T., Natural Convection in Rectangular Enclosures Heated From One Side and Cooled from the Ceiling, International Journal of Heat and Mass Transfer, 42, 2345-2355, 1999.
- [9] Corcione, M., Effects of the Thermal Boundary Conditions at the Sidewalls upon Natural Convection in Rectangular Enclosures Heated from Below and Cooled from Above, International Journal of Thermal Sciences, 42, 199-208, 2003.
- [10] Svoboda, Z., Kubr, M., Numerical Simulation of Heat Transfer through Hollow Bricks in the Vertical Directions, Journal of Building Physics, 34, 4, 325-350, 2010.
- [11] Alhazmy, M.M., Numerical Investigation on Using Inclined Partitions to Reduce Natural Convection Inside the Cavities of Hollow Bricks, International Journal of Thermal Sciences, 49, 2201-2210, 2010.
- [12] Li, L.P., Wu, Z.G., Li, Z.Y., He, Y.L., Tao, W.Q., Numerical Thermal Optimization of the Configuration of Multi-holed Clay Bricks Used for Constructing Building Walls by the Finite Volume Method, International Journal of Heat Mass Transfer, 51, 3669-3682, 2008.
- [13] Li, L.P., Wu, Z.G., He, Y.L., Lauriat, G., Tao, W.Q., Optimization of the Configuration of 290x140x90 Hollow Clay Bricks with 3-D Numerical Simulation by Finite Volume Method, Energy and Buildings, 40, 1790-1798, 2008.
- [14] Lacarriere, B., Lartigue, B., Monchoux, F., Numerical Study of Heat Transfer in a Wall of Vertically Perforated Bricks: Influence of Assembly Method, Energy and Buildings, 35, 229-237, 2003.
- [15] Sun, J., Fang, L., Numerical Simulation of Concrete Hollow Bricks by the Finite Volume Method, International Journal of Heat Mass Transfer, 52, 5598-5607, 2009.
- [16] Lorente, S., Petit, M., Javelas, R., Simplified Analytical Model for Thermal Transfer in Vertical Hollow Brick, Energy and Buildings, 24, 95-103, 1996.

- [17] Zukowski, M., Haese, G., Experimental and Numerical Investigation of a Hollow Brick Filled with Perlite Insulation, *Energy and Buildings*, 42, 1402-1408, 2010.
- [18] Al-Hadhrami, L.M., Ahmad, A., Assessment of Thermal Performance of Different Types of Masonry Bricks Used in Saudi Arabia, *Applied Thermal Engineering*, 29, 1123-1130, 2009.
- [19] Arendt, K., Krzaczek, M., Florczuk, J., Numerical Analysis by FEM and Analytical Study of the Dynamic Thermal Behavior of Hollow Bricks with Different Cavity Concentration, *International Journal of Thermal Sciences*, 50, 1543-1553, 2011.
- [20] del Coz Diaz, J.J., Garcia Nieto, P.J., Betegon Biempica, C., Prendes Gero, M.B., Analysis and Optimization of the Heat-Insulating Light Concrete Hollow Brick Walls Design by the Finite Volume Method, *Applied Thermal Engineering*, 27, 1445-1456, 2007.
- [21] Söylemez, M.S., On the Effective Thermal Conductivity of Building Bricks, *Building and Environment*, 34, 1-5, 1999.
- [22] Alhazmy, M.M., Analysis of Coupled Natural Convection-Conduction Effects on the Heat Transport through Hollow Building Blocks, *Energy and Buildings*, 38, 515-521, 2006.
- [23] Alawadhi, E.M., Thermal Analysis of a Building Brick Containing Phase Change Material, *Energy and Buildings*, 40, 351-357, 2008.
- [24] Lorente, S., Petit, M., Javelas, R., The Effects of Temperature Conditions on the Thermal Resistance of Walls made with Different Shapes Vertical Hollow Bricks, *Energy and Buildings*, 28, 237-240, 1998.
- [25] Antar, M.A., Baig, H., Conjugate Conduction-Natural Convection Heat Transfer in a Hollow Building Block, *Applied Thermal Engineering*, 29, 3716-3720, 2009.
- [26] Patankar, S. V., *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw Hill, New York, 1980.

ÖZGEÇMİŞ

Birol ŞAHİN

1977 yılında Trabzon ilinin Arsin ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erzurum ilinde, lise öğrenimini Denizli ilinde tamamladı. 1998 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde lisans, 2002 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans, 2008 yılında ise Doktora eğitimini tamamladı. 2000-2007 yılları arasında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 2007-2010 yılları arasında KTÜ Beşikdüzü Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalıştı. 2010 yılından itibaren Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Doğal taşınım ile ısı transferi ve birleşik ısı transferi konularında çalışmaktadır.